

# **Gittereinfluß und Ansätze für den Wärmeübergang bei der Berechnung von Raumluftrömungen**

ABHANDLUNG

zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN

der

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE

ZÜRICH

vorgelegt von

JOACHIM T.A. BORTH

Dipl.-Ing. TH Aachen

geboren am 21. November 1955

in Haldern/Bundesrepublik Deutschland

Angenommen auf Antrag von:

Prof. Dr. P. Suter, Referent

Prof. Dr. H. Thomann, Korreferent

## Kurzfassung

Bei der Auslegung von Lüftungssystemen werden in zunehmendem Maße computergestützte Berechnungsverfahren eingesetzt. Mit der numerischen Simulation der Luftgeschwindigkeit und der Temperaturverteilung in Räumen können Aussagen über den Energiebedarf und den Komfort gemacht werden.

Das in der vorliegenden Arbeit eingesetzte Computerprogramm zur Berechnung von Raumlufströmungen löst die Erhaltungsgleichungen für Masse, Impuls und Energie nach der Finite-Volumen-Methode in einem krummlinigen nichtorthogonalen Gitternetz. Zur Modellierung der Turbulenz wird das k- $\epsilon$ -Modell verwendet.

Ziel der Arbeit ist es, durch den Vergleich mit Messungen Aussagen über den Einfluß der Gitter auf die Berechnungsergebnisse zu machen. Weiteres Ziel ist es zu zeigen, daß der hier vorgeschlagene Ansatz für den Wärmeübergang bei Temperaturrandbedingungen die Bestimmung der Geschwindigkeits- und Temperaturverteilung in Fällen mit dominierender freier Konvektion erheblich verbessert.

Der Einfluß der Gitter wird am Beispiel einer isothermen, von einem Zuluftstrahl angetriebenen Strömung in einem dreidimensionalen Testraum untersucht. Um ein qualitativ richtiges Strömungsfeld zu ermitteln, genügt eine grobe Diskretisierung. Feiner diskretisierte Gitter sind in der Lage, instationäre Strömungsvorgänge wiederzugeben. Die Schwingungsdauer entspricht einem Zeitmaßstab, der sich aus dem Luftwechsel, der Geschwindigkeit an der Einlaßöffnung und der mittleren Geschwindigkeit im Raum ergibt. Für die Vergleiche werden die Ergebnisse zeitlich gemittelt. Das Geschwindigkeitsfeld ist ab einer bestimmten Diskretisierungsfineinheit gitterunabhängig. In Rückströmzonen erhöht sich die turbulente kinetische Energie bei Verfeinerung des Gitters, bleibt aber unter den Werten der Messung. Der Einfluß der numerischen Diffusion auf die Ergebnisse von verschieden fein diskretisierten Gittern konnte gezeigt werden.

Der Vergleich zeigt, daß Ergebnisse von Berechnungen mit fein diskretisierten Gittern in der Nähe des Lufteinlasses gut mit Messungen übereinstimmen. Dies

trifft auch für die turbulente kinetische Energie und den turbulenten Längensmaßstab zu. Solche Ergebnisse lassen sich unter bestimmten Voraussetzungen als Randbedingungen in anderen Rechnungen verwenden, um damit eine entsprechend feine Diskretisierung des Luftdurchlasses unnötig zu machen.

Bei Strömungen, die nur von Auftriebskräften infolge von Temperaturunterschieden zwischen den Wandflächen angetrieben werden, verliert das logarithmische Wandgesetz seine Gültigkeit. Der neue Ansatz, der als modifizierte Temperaturrandbedingung bezeichnet wird, beruht darauf, daß zur Berechnung des Wärmeflusses an der Wand empirische Wärmeübergangsbeziehungen eingeführt werden. Am Beispiel einer zweidimensionalen Strömung in einem Hohlraum und einer dreidimensionalen nichtisothermen Strömung im Testraum wird der Ansatz überprüft. Bei einem Vergleich mit Messungen ergibt sich, daß durch die Berechnung des Wärmeflusses mit den modifizierten Temperaturrandbedingungen das Temperaturniveau, die Temperaturschichtung und die Geschwindigkeitsverteilung richtig bestimmt werden. Rechnungen mit einem groben Gitter und den modifizierten Temperaturrandbedingungen liefern sogar im Vergleich zur Messung genauere Resultate als Rechnungen mit größerer Gitterfeinheit und dem logarithmischen Wandgesetz.

## Abstract

Computer-based analysis techniques are currently being employed to an increasing degree as a design tool for ventilation systems. With the numerical prediction of the flow and temperature distribution in rooms the degree of thermal comfort and energy consumption can be optimised.

The flow code used in this thesis is based on the finite volume method. It solves the differential equations of mass, momentum and energy conservation on a *curvilinear non-orthogonal grid*. The standard  $k$ - $\epsilon$  turbulence model is implemented.

In the first part of the thesis the influence of the discretisation is studied by comparison of computational results with measurements. In the second part a formulation for the heat transfer at the wall using temperature boundary conditions is suggested which improves the prediction of the flow and temperature distribution in cases of natural convection.

The flow field in a three-dimensional test room with an air inlet has been calculated. The incoming air jet drives an isothermal air flow by forced convection. A coarse grid is sufficient to provide a qualitative prediction of the flow field. With finer grids a transient air movement can be detected. The period of oscillation is proportional to the time scale formed by air exchange rate, inlet velocity and the mean velocity within the room. The time-average of the transient flow field is taken for the comparison with measurements. Using fine grids the results for the mean velocity become grid independent. The calculated values for the turbulent kinetic energy in recirculation zones increase as the grid becomes finer, but remain smaller than the measured values. The influence of numerical diffusion on the computational results for grids of varying discretisation has been examined.

Near the inlet the agreement between the numerical distribution of mean velocity, turbulent kinetic energy and turbulent length scale and the measurements is quite good. Under certain circumstances the flow field from a calculation with a fine grid around an inlet can be used to supply boundary conditions for the flow calculation in a room using a coarse grid.

In buoyancy driven flows the logarithmic law of the wall is no longer valid. A new formulation for the heat transfer at the wall is introduced, which is called a modified temperature boundary condition. The calculation of the heat flux is based on an empirical correlation for the heat transfer. The modified temperature boundary conditions are checked on a flow in a cavity and in the three-dimensional test room with free convection. In both cases the velocity and temperature distribution agree well with the measured values. Calculations with a coarser grid using the modified temperature boundary conditions yield better results than using a finer grid with logarithmic law of the wall.